



## اثر زراعت مستمر روی خصوصیات جذب فسفر در برخی از خاک‌های آهکی شمال غرب کشور

گلاله میرکی<sup>۱\*</sup> - عباس صمدی<sup>۲</sup>

تاریخ دریافت: ۸۸/۱۲/۱۷

تاریخ پذیرش: ۹۰/۴/۸

### چکیده

جذب فسفر در خاک‌ها فرایند کلیدی است که قابلیت استفاده فسفر برای گیاهان زراعی را کنترل می‌کند. مشخصات جذب فسفر و ارتباط آن‌ها با خصوصیات خاک در ۲۱ جفت نمونه خاک متعلق به ۵ زیرگروه Vertic Calcixerepts, Typic Endoaquepts, Typic Haploxerepts, Typic Calcixerepts و Vertic Endoaquepts تعیین شد. هم‌دماهای جذب فسفر پس از تعیین، بر داده‌های جذب برآزش و سپس پارامترهای معادلات لانگمویر و فروندلیچ برآورد شدند. هر دو معادله خصوصیات جذب را به خوبی توصیف کردند لکن معادله فروندلیچ ( $R^2=0/97$ ) در همه خاک‌ها بهتر از لانگمویر ( $R^2=0/88$ ) توانست خصوصیات جذب را توصیف کند. میزان فسفر کل در خاک‌های زراعی از ۱۰۰۰ تا ۱۳۹۸ با میانگین ۱۲۷۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های غیرزراعی از ۱۰۱۱ تا ۱۳۹۴ با میانگین ۱۲۴۸ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. زراعت مستمر باعث افزایش قابل توجهی در میزان فسفر قابل جذب (Olsen-P) در برخی از خاک‌های زراعی مورد مطالعه شد. دامنه تغییرات حداکثر جذب فسفر (b) در خاک‌های زراعی و غیرزراعی به ترتیب از ۱۵۲-۲۳۰ و ۲۲۰-۱۷۱ میلی‌گرم در کیلوگرم بود. نتایج نشان داد که غلظت تعادلی فسفر (EPC) در همه خاک‌های زراعی مورد مطالعه به جز خاک‌های زراعی متعلق به زیر گروه Typic Haploxerepts کمتر از ۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر بود. مقدار فسفر جذب شده در غلظت تعادلی فسفر ۰/۴ میلی‌گرم بر لیتر در خاک‌های زراعی و غیرزراعی به ترتیب از ۳۶ تا ۷۵ و ۲۱ تا ۵۲ میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. در اثر زراعت مستمر مقدار فسفر جذب شده در اکثر همه زیرگروه‌ها افزایش یافت که احتمالاً بیانگر عدم مدیریت صحیح مصرف کودهای فسفاته در طول زراعت باشد که باعث تخلیه خاک از فسفر و در نتیجه افزایش جذب فسفر در این خاک‌ها شده است.

واژه‌های کلیدی: زراعت مستمر، فروندلیچ، لانگمویر، هم‌دمای جذب فسفر

### مقدمه

محلول و وضعیت تعادل بین فسفر در فاز محلول و فاز جامد و ارتباط بین آن‌ها را برآورد نمود (۱). غلظت فسفر در محلول خاک و در نتیجه قابل استفاده بودن این عنصر غذایی برای گیاه ارتباط نزدیکی با فرایندهای جذب سطحی بوسیله اجزای خاک از جمله کانی‌های رسی، اکسیدها و هیدروکسیدهای آهن و آلومینیوم، کربنات کلسیم و مواد آلی خاک دارد (۲۹). این ارتباط را می‌توان بوسیله هم‌دماها و معادلات جذب توصیف کرد، که در میان آن‌ها معادله‌های لانگمویر و فروندلیچ رایج‌تر هستند (۲۹). شکل متداول معادله لانگمویر به شرح ذیل است:

$$\frac{x}{m} = \frac{kcb}{1 + kc} \quad (1)$$

که در آن  $x/m$ : وزن جذب‌شونده در واحد وزن جذب‌کننده برحسب میکروگرم در هر گرم جذب‌کننده،  $x$ : غلظت تعادلی جذب‌شونده برحسب میکروگرم در میلی‌لیتر،  $k$ : عدد ثابتی است که به قدرت پیوند یا قدرت جذب مربوط می‌باشد و  $b$ : حداکثر مقدار ماده‌ای است که می‌تواند جذب شود (یک لایه کامل مولکولی). معادله فوق اغلب

فسفر از عناصر ضروری مورد نیاز گیاه می‌باشد. که در تولید بیشتر محصول نقش دارد. از آنجا که فسفر در خاک تحت تاثیر عوامل متعددی قرار می‌گیرد ارزیابی وضعیت آن در این محیط بسیار پیچیده می‌باشد. پژوهشگران روش‌های مختلفی را برای ارزیابی وضعیت فسفر در خاک ارائه نمودند که هر کدام برای وضعیت و شرایط منطقه خاصی پیشنهاد شده است. یکی از روش‌هایی که در سال‌های اخیر برای بررسی وضعیت فسفر در خاک ارائه شده است، استفاده از هم‌دمای جذب فسفر می‌باشد. با استفاده از این روش می‌توان غلظت فسفر در فاز محلول خاک، انرژی جذب فسفر و حداکثر جذب آن توسط خاک، قدرت بفری خاک در برابر تغییرات غلظت فسفر در

۲۰۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد و دانشیار گروه مهندسی علوم خاک، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(Email: gmiraki@gmail.com)

\*- نویسنده مسئول:

به صورت فرم خطی آن نشان داده می شود:

$$\frac{c}{x/m} = \frac{1}{kb} + \frac{c}{b} \quad (2)$$

اولسن و واتانابه (۲۳) برای اولین بار از معادله لانگمویر به منظور توصیف جذب فسفر در خاک استفاده کردند و پس از آن پژوهشگران زیادی معادله فوق را در پژوهش‌های خود مورد استفاده قرار دادند (۳۴) و (۳۱). مزیت اصلی معادله لانگمویر این است که می‌توان حداکثر جذب (b) را به وسیله آن تخمین زد. مهادی و همکاران (۱۸) از حداکثر جذب (b) برای پیش‌بینی میزان فسفر مورد نیاز گندم استفاده نموده و نشان دادند که خاک‌های با حداکثر جذب بالاتر نیاز به کود فسفوری بیشتری دارند. آگینین و تیسسن (۶) از معادله لانگمویر در برآش داده‌های جذب فسفر استفاده کرده و روابط معنی‌داری بین پارامترهای این معادله و ویژگی‌های خاک مانند درصد رس و کربن آلی به دست آوردند.

یکی دیگر از معادلات رایج برای توصیف داده‌های جذب فسفر از معادله فروندلیچ به صورت زیر می‌باشد:

$$\frac{x}{m} = ac^{1/n} \quad (3)$$

که در آن  $x/m$ : مقدار ماده جذب‌شونده در واحد وزن جذب‌کننده (میکروگرم در هر گرم جذب‌کننده)،  $c$ : غلظت تعادلی ماده جذب‌شونده (میکروگرم در میلی‌لیتر) و  $a$  (سطح جذبی) و  $n$  (انرژی جذب) دو ثابت تجربی می‌باشند. شکل لگاریتمی این معادله به صورت زیر می‌باشد:

$$\log \frac{x}{m} = \frac{1}{n} \log c + \log a \quad (4)$$

رابطه اخیر یک رابطه خطی است. بر پایه آن انرژی جذب ( $n$ ) با افزایش میزان جذب به‌طور نمایی کاهش می‌یابد. برتری معادله فروندلیچ نسبت به معادله لانگمویر آن است که افزون بر ساده بودن، بر فرض‌های واقعی‌تری بنیان نهاده شده است (۸). سولیس و تورنت (۳۴) با بررسی جذب فسفر در خاک‌های آهکی اسپانیا از معادله فروندلیچ، به دلیل داشتن ضرایب تبیین بالاتر نسبت به معادله لانگمویر استفاده کردند. فکری و همکاران (۳) در توصیف هم‌دمای جذب فسفر در سه خاک آهکی اصفهان مدل فروندلیچ را نسبت به مدل لانگمویر برتر دانستند.

بن نواح و اکوایه (۹) ضرایب همبستگی میان حداکثر جذب فسفر با ماده آلی و درصد رس را به ترتیب  $0.79$  و  $0.89$  گزارش کردند. آن‌ها مشاهده نمودند که با وارد کردن کربن آلی، رس، اکسیدهای آهن و آلومینیوم آزاد در معادله رگرسیون چندمتغیره، حداکثر جذب فسفر را بهتر می‌توان تخمین زد. بلاکس و پیزلی (۷) اعلام کردند که در دامنه وسیعی از غلظت‌های تعادلی (۲ تا  $150 \text{ ppm}$ ) میان حداکثر

جذب فسفر و ماده آلی، اکسیدهای آهن و فسفات کلسیم همبستگی معنی‌داری وجود دارد. ویلاپاندر و گریترز (۳۵) جذب سطحی و رهاسازی فسفر را در افق اسپودیک خاک‌های اسپودوسول واقع در فلوریدا بررسی نمودند و ارتباط آن را با میزان اکسیدهای آهن و آلومینیم و مواد آلی به دست آوردند. نیر و همکاران (۲۰) گزارش نمودند که داده‌های جذب فسفر در ۱۲ خاک با معادلات لانگمویر و فروندلیچ قابل توجهی می‌باشد اما هم‌دمای فروندلیچ جذب فسفر را مخصوصاً در غلظت‌های بالای فسفر بهتر نشان می‌دهد.

تحقیقات زیادی در ارتباط با مشخصات جذب فسفر خاک‌ها گزارش شده است، لکن اطلاعات اندکی در خصوص اثر زراعت مستمر روی خصوصیات جذب فسفر مانند حداکثر جذب و قدرت پیوند فسفر وجود دارد. لذا اهداف این مطالعه عبارتند از: ۱) تعیین منحنی‌های جذب فسفر، ۲) تعیین پارامترهای معادلات جذب فسفر و ۳) ارتباط خصوصیات فیزیکی - شیمیایی با برخی پارامترهای جذب فسفر در خاک‌های زراعی تحت کشت چغندرقتد و خاک‌های غیرزراعی هم‌جوار آن‌ها در برخی از خاک‌های آهکی شمال غرب کشور.

## مواد و روش‌ها

**ویژگی‌های خاک‌های مورد بررسی:** به منظور انجام این پژوهش، ۲۱ جفت نمونه خاک سطحی (۳۰-۰ سانتی‌متری) از خاک‌های مزارع چغندرقتد (۲۱ مزرعه) که در تناوب با گندم به مدت بیش از ۴۵ سال مورد کشت و زرع مستمر قرار گرفته است و اراضی غیرزراعی هم‌جوار (۲۱ زمین بایر) استان آذربایجان غربی جمع‌آوری گردید. مصرف کودهای فسفاته به‌طور نامنظم توسط چغندرقتدکاران در طی سالیان متمادی صورت گرفته است و مقدار مصرف کودهای فسفاته از ۱۵۰ تا ۳۰۰ کیلوگرم در هکتار متغیر می‌باشد. نمونه‌های خاک هواخشک و از الک دو میلی‌متری عبور داده شدند. برخی از ویژگی‌های خاک شامل بافت خاک به روش هیدرومتری (۱۳)، درصد کربن آلی به روش والکی بلاک (۳۶)، ظرفیت تبادل کاتیونی به روش استات سدیم (۲۶)، کربنات کلسیم معادل به روش خنثی سازی با اسید کلریدریک (۲۸)، کربنات کلسیم فعال به روش اگزالات آمونیوم (۱۱)، اکسیدهای آهن بی‌شکل با استفاده از روش ریمونت و هقینسون (۲۸) و pH در سوسپانسیون کلرید کلسیم  $0.01$  مولار با نسبت ۱:۵ اندازه‌گیری شدند. میزان فسفر کل خاک‌های مورد مطالعه به روش هضم توسط اسید پر کلریک تعیین شد (۲۴). فسفر قابل جذب نیز به روش اولسن تعیین گردید (۲۳).

## هم‌دمای جذب فسفر

برای تعیین هم‌دمای جذب فسفر از روش فوکس و کامپرا (۱۲)

فیزیکوشیمیایی خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. دامنه تغییرات pH در خاک‌های زراعی و غیرزراعی بین ۷/۳ تا ۷/۷ بود. مقادیر کربنات کلسیم معادل خاک‌های زراعی و غیرزراعی هم‌جوار به ترتیب از ۸/۲ تا ۲۹ و ۸/۵ تا ۲۹ درصد متغیر بود. دامنه مقادیر کربنات کلسیم فعال خاک‌های زراعی و غیرزراعی هم‌جوار به ترتیب از ۳/۵ تا ۱۱ درصد و ۳/۹ تا ۱۴ درصد تغییر می‌کرد. روابط مثبت و معنی‌داری بین درصد کربنات کلسیم معادل و کربنات کلسیم فعال در خاک‌های زراعی ( $R^2=0/001, P \leq 0/001$ ) و غیرزراعی ( $R^2=0/077, P \leq 0/001$ ) (شکل ۱). دامنه تغییرات کربن آلی در خاک‌های زراعی و غیرزراعی به ترتیب از ۰/۸۱ تا ۱/۱ و ۰/۷۵ تا ۱/۸ درصد متغیر است. دامنه تغییرات رس در خاک‌های زراعی و غیرزراعی به ترتیب بین ۲۷ تا ۳۷ و ۲۵ تا ۳۶ سانتی مول بر کیلوگرم خاک متغیر بود.

مقادیر اکسیدهای آهن بی‌شکل ( $Fe_0$ ) در خاک‌های زراعی و غیرزراعی به ترتیب ۰/۱۳ تا ۰/۶۲ و ۰/۲۶ تا ۰/۵۵ درصد متغیر بود. آزمون مقایسه میانگین‌ها نشان داد که تفاوت معنی‌داری بین ویژگی‌های خاک زراعی با غیرزراعی وجود نداشت (جدول ۱).

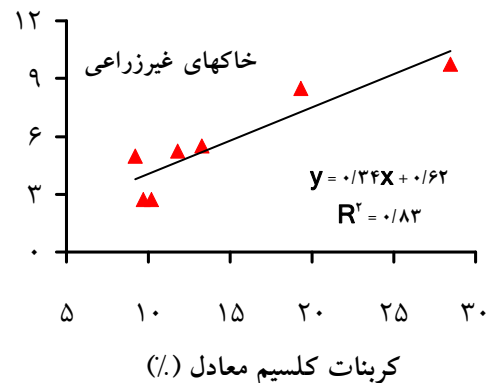
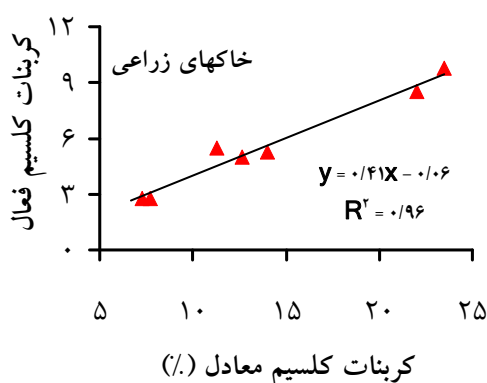
کانی ایلیت رس غالب زیرگروه‌های Typic Calcixerepts و Typic Endoaquepts, Haploxerepts بود در حالی که در زیرگروه‌های Vertic Endoaquepts و Vertic Calcixerepts کانی غالب از گروه رس‌های اسمکتایت (مونتموریلونایت) می‌باشد (جدول ۲).

استفاده شد. دو و نیم گرم از نمونه‌های خاک در لوله‌های سانتیفریژ ۵۰ میلی‌لیتری ریخته شد و ۲۵ میلی‌لیتر محلول ۰/۰۱ مولار  $CaCl_2$  با غلظت‌های صفر تا ۲۵ میلی‌گرم فسفر در لیتر به صورت فسفات دهیدروژن پتاسیم به آن‌ها اضافه شد به نحوی که غلظت‌های نهایی بعد از زمان تعادل در محدوده‌ی بین ۰ تا ۱۰ میلی‌گرم فسفر در لیتر قرار گرفت. برای جلوگیری از فعالیت میکروبی چند قطره تولوئن ۱٪ به عصاره‌ها اضافه شد. سوسپانسیون به مدت ۲۴ ساعت در دمای ۲۵ درجه در شیکر تکان داده شد. بعد از تعادل، نمونه‌ها به مدت ۱۰ دقیقه سانتیفریژ و از کاغذ صافی عبور داده شدند. غلظت فسفر در محلول به وسیله روش آبی مولیبدات اندازه‌گیری شد (۲۲). مقدار فسفر جذب شده حاصل تفاوت مقدار فسفر اضافه شده و مقدار بازیابی شده در محلول خاک‌ها بود.

**کانی‌شناسی خاک‌ها** کانی‌شناسی کیفی و نیمه‌کمی رس‌ها توسط پراش پرتو ایکس انجام شد. قبل از جداسازی کانی‌های خاک، نمونه‌های خاک با آب اکسیژنه ۳۰٪ برای حذف مواد آلی (۱۷) و با سدیم-دیتیونات-سیترات-بی‌کربنات برای حذف اکسیدهای آهن (۱۹) تیمار شدند. شن از سیلت و رس با الک و نیز رس از سیلت به وسیله سانتیفریژ جدا و پراش‌نگارهای پرتو ایکس نمونه‌های رس با استفاده از دستگاه ShimatzoXRD-6000 با اعمال  $Cu_{K\alpha}$  به دست آمد. ترکیب مینرالوژیکی نیمه‌کمی بخش رس بوسیله اشباع منیزیم، اشباع با منیزیم و گلیسرول، اشباع پتاسیم و اشباع پتاسیم با حرارت تیمار شده و از طریق تجزیه پراش پرتو ایکس تعیین گردیدند. برآورد نیمه‌کمی درصد نسبی کانی‌های رس به روش بیسکی (۱۰) به دست آمد.

## نتایج و بحث

خصوصیات و کانی‌شناسی خاک‌ها: برخی خصوصیات



شکل ۱- رابطه بین کربنات کلسیم فعال و کربنات کلسیم معادل در خاک‌های زراعی و غیرزراعی

جدول ۱ - مقادیر میانگین  $\pm$  انحراف معیار خصوصیات فیزیکوشیمیایی، فسفر کل، فسفر قابل جذب و درصد تغییرات آنها در اثر زراعت مستمر در خاک های زراعی و غیرزراعی

متغیرها			
Typic Calcixerepts		Typic Endoaquepts	
غیرزراعی	زراعی	غیرزراعی	زراعی
۱/۳	۷/۷±۰/۱۸	۷/۶±۰/۱۵	۰
۲۳	۱/۴±۰/۶۳	۱/۸±۰/۶۳	-۱۳
۱۳	۱۵±۶/۶	۱۳±۶/۹	-۲۴
۸/۵	۷±۲/۶	۶/۴±۲/۵	۱۸
-۶/۱	۳/۱±۱/۵	۳/۳±۱/۵	-۵۵
۶/۸	۲۹±۵/۴	۲۷±۳/۹	-۱۲
۶۲	۰/۷±۰/۵۰	۰/۲۷±۰/۰۹	۱۵
-۷/۶	۱۲۹.۸±۱۵	۱۳۹.۸±۱۲.۵	۱/۳
-۵/۱	۱۲±۲/۸	۱.۸±۵/۰	-۱۳.۸*

متغیرها			
Typic Haploxerepts		Vertic Endoaquepts	
غیرزراعی	زراعی	غیرزراعی	زراعی
۷/۳±۰/۰۷	۷/۳±۰/۰۷	۷/۳±۰/۰۷	۷/۴±۰
۱/۸±۰/۳۵	۱/۸±۰/۳۵	۱/۸±۰/۳۵	۱/۸±۰/۱۴
۸/۵±۴/۷	۸/۵±۴/۷	۸/۵±۴/۷	۹/۲±۱/۱
۶/۱±۱/۹	۶/۱±۱/۹	۶/۱±۱/۹	۶/۵±۱/۴
۴/۹±۸/۵	۴/۹±۸/۵	۴/۹±۸/۵	۴/۶±۵/۶
۳۳±۰/۷۲	۳۳±۰/۷۲	۳۳±۰/۷۲	۳۰±۰/۷۱
۰/۵۵±۰/۱۵	۰/۵۵±۰/۱۵	۰/۵۵±۰/۱۵	۰/۶۲±۰/۰۳
۱۲۷.۸±۲۰.۷	۱۲۷.۸±۲۰.۷	۱۲۷.۸±۲۰.۷	۱۳۴.۹±۱۴.۷
۱۳±۹/۵	۱۳±۹/۵	۱۳±۹/۵	۲۲±۱.۸

متغیرها			
Typic Calcixerepts		Typic Haploxerepts	
غیرزراعی	زراعی	غیرزراعی	زراعی
۰/۹۴	۷/۵±۰/۰۳	۷/۴±۰/۱۷	۱/
-۳/۶	۱/۱±۰/۰۷	۱/۵±۰/۰۷	۲۲
-۱/۶	۲/۵±۲/۸	۲/۹±۱/۴	۱۱
۶/۱*	۲/۸±۰/۷۴	۱/۱±۰/۱۱	۱۰
-۲/۱*	۵/۵±۰/۵۳	۵/۶±۰/۷۰	۰
-۹/۰*	۳/۴±۰/۴۳	۳/۷±۰/۵۹	۶/۶
۷/۱	۰/۸۴±۰/۰۶	۰/۸۳±۰/۰۹	۵/۴
۱/۱*	۱/۰۱±۱/۰۴	۱/۰۰±۱/۰۱	۱/۷
۸/۸*	۱/۰±۰/۷۳	۱/۰±۰/۷۹	*۳/۸

CEC، ظرفیت تبادل کاتیونی؛ OC، کربن آلی؛ CCE، کربنات کلسیم معادل؛ ACCE، کربنات کلسیم فعال؛ P<sub>i</sub>، فسفر کل؛ Olsen-P، فسفر قابل استخراج با میکربنات سدیم نیم مولار

\*: معنی دار در سطح ۰/۰۵ درصد

جدول ۲- درصد توزیع کانی ها در بخش رس خاک های مورد مطالعه

نوع خاک	ایلاتیت	کلرایت+کایولینایت	اسمکتایت
Vertic Endoaquepts	۳۰	۲۹	۴۱
Vertic Calcixerepts	۲۵	۴۱	۴۴
Typic Endoaquepts	۴۰	۴۵	۲۵
Typic Haploxerepts	۶۹	۱۵	۱۶
Typic Calcixerepts	۷۰	۱۹	۱۱

جدول ۳- مقادیر میانگین ± انحراف معیار پارامترهای جذب فسفر و معادلات لانگمیر (b) حداکثر مقدار جذب فسفر؛ k، قدرت پیوند) و فرودلیج (n و a، ثابت های تجربی) و درصد تغییرات آنها در اثر زراعت مستمر در خاک های زراعی و غیرزراعی

متغیرها	Vertic Endoaquepts			Typic Endoaquepts			Vertic Calcixerepts			Typic Calcixerepts		
	درصد تغییرات	غیرزراعی	زراعی	درصد تغییرات	غیرزراعی	زراعی	درصد تغییرات	غیرزراعی	زراعی	درصد تغییرات	غیرزراعی	زراعی
EPC (میلی گرم بر لیتر)		۰/۲۶±۰/۰۴	۰/۲۱±۰/۰۶	۴/۵	۰/۱۲±۰/۰۶	۰/۱۵±۰/۰۲	۵۷	۰/۱۵±۰/۰۳۳	۰/۲۵±۰/۰۶۹	۰/۲۵±۰/۰۳۳	۰/۲۵±۰/۰۳۳	۰/۲۵±۰/۰۳۳
P <sub>0.4</sub> (میلی گرم بر کیلوگرم)		۳۰±۰	۳۱±۳/۵	-۱/۶	۴۹±۵/۶	۷۵±۳۵	-۳۵*	۳۶±۲۷	۲۵±۳۳	۳۶±۲۷	۳۶±۲۷	۳۶±۲۷
b (میلی گرم بر کیلوگرم)		۱۷۱±۶/۲	۱۵۲±۲۱	۱۱	۲۲±۱۰	۲۳±۳۷	-۴۳	۱۹۶±۴۶	۲۱۶±۶۸	۱۹۶±۴۶	۲۱۶±۶۸	۱۹۶±۴۶
k (لیتر بر میلی گرم)		۱/۲±۰/۹۲	۱/۷±۰/۹۲	-۲۹	۱/۸±۱/۹	۰/۶۷±۰/۰۸	۱۱	۰/۷۱±۰/۵۰	۰/۸۲±۰/۵۲	۰/۸۲±۰/۵۲	۰/۷۱±۰/۵۰	۰/۸۲±۰/۵۲
a (میلی گرم بر کیلوگرم)		۷۳±۱۱	۷۳±۱۱	۳/۹	۹۳±۶/۱	۶۸±۶/۳	۲۷	۵۹±۲۹	۶۱±۳۱	۵۹±۲۹	۶۱±۳۱	۶۱±۳۱
n		۱/۸±۰/۷۱	۱/۸±۰/۷۱	-۱۷	۱/۹±۰/۷۹	۱/۵±۰/۰۳	۲۱	۱/۷±۰/۴۷	۱/۷±۰/۵۲	۱/۷±۰/۴۷	۱/۷±۰/۵۲	۱/۷±۰/۴۷
ضریب تینین معادله لانگمیر (R <sup>2</sup> )		۰/۹۲**	۰/۹۲**		۰/۸۳**	۰/۷۶*		۰/۷۴*	۰/۷۵*	۰/۷۴*	۰/۷۵*	۰/۷۴*
ضریب تینین معادله فرندلیج (R <sup>2</sup> )		۰/۹۸***	۰/۹۸***		۰/۹۸***	۰/۹۹***		۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**	۰/۹۵**
متغیرها												
Typic Haploxerepts												
	درصد تغییرات	غیرزراعی	زراعی	درصد تغییرات	غیرزراعی	زراعی	درصد تغییرات	غیرزراعی	زراعی	درصد تغییرات	غیرزراعی	زراعی
EPC (میلی گرم بر لیتر)		۰/۵۸±۱/۱	۰/۱۳±۰/۱۱	۷۵	۰/۲۲±۰/۰۲	۰/۲۲±۰/۰۲	-۹/۳	۰/۱۹±۰/۰۱	۰/۲۲±۰/۰۲	۰/۱۹±۰/۰۱	۰/۲۲±۰/۰۲	۰/۲۲±۰/۰۲
P <sub>0.4</sub> (میلی گرم بر کیلوگرم)		۵۲±۳۸	۵۲±۳۸	۱/۵	۲۵±۲/۸	۲۵±۲/۸	-۱۶	۲۱±۳/۱	۲۵±۲/۸	۲۱±۳/۱	۲۵±۲/۸	۲۵±۲/۸
b (میلی گرم بر کیلوگرم)		۱۹۴±۲۹	۲۰۵±۲۹	-۵/۷	۱۹۲±۱۲	۱۹۲±۱۲	-۸/۳	۱۷۶±۱۱	۱۹۲±۱۲	۱۷۶±۱۱	۱۹۲±۱۲	۱۹۲±۱۲
k (لیتر بر میلی گرم)		۱/۹±۱/۶	۱/۸±۱/۶	۵/۳	۰/۹۷±۰/۲۲	۰/۶۷±۰/۱۹	۳۱	۰/۹۷±۰/۲۲	۰/۹۷±۰/۲۲	۰/۹۷±۰/۲۲	۰/۹۷±۰/۲۲	۰/۹۷±۰/۲۲
a (میلی گرم بر کیلوگرم)		۲۹±۳۸	۲۹±۳۸	۶۶	۵۹±۲/۲	۵۹±۲/۲	۴	۶۲±۷/۲	۵۹±۲/۲	۶۲±۷/۲	۵۹±۲/۲	۶۲±۷/۲
n		۱/۹±۰/۵۶	۱/۹±۰/۵۶	۹/۵	۱/۶±۰/۴۳	۱/۶±۰/۴۳	۲۵	۲/۳±۰/۳۵	۱/۶±۰/۴۳	۲/۳±۰/۳۵	۱/۶±۰/۴۳	۲/۳±۰/۳۵
ضریب تینین معادله لانگمیر (R <sup>2</sup> )		۰/۸۹**	۰/۸۹**		۰/۹۴**	۰/۹۴**		۰/۹۷***	۰/۹۴**	۰/۹۷***	۰/۹۴**	۰/۹۴**
ضریب تینین معادله فرندلیج (R <sup>2</sup> )		۰/۹۸***	۰/۹۸***		۰/۹۵***	۰/۹۵***		۰/۹۸***	۰/۹۵***	۰/۹۸***	۰/۹۵***	۰/۹۵***

k، انرژی پیوند؛ b، ماکزیمم جذب؛ a و n، ضرایب معادله فرندلیج؛ P<sub>0.4</sub>، مقدار فسفر جذب شده در غلظت تبادل فسفر محلول ۰/۴ میلی گرم بر لیتر؛ EPC، غلظت تبادل فسفر محلول؛ \*\*، معنی دار در سطح ۰/۰۱ درصد؛ \*\*\*، معنی دار در سطح ۰/۰۰۱ درصد؛ \*\*، معنی دار در سطح ۰/۰۱ درصد؛ \*، معنی دار در سطح ۰/۰۵ درصد؛ \*\*، معنی دار در سطح ۰/۰۱ درصد؛ \*\*\*، معنی دار در سطح ۰/۰۰۱ درصد

در همه خاک‌های زراعی مورد مطالعه به جز Haploxerepts Typic کمتر از نیاز گیاهان زراعی ( $0/4 <$  میلی‌گرم بر لیتر) بود.

مقدار فسفر جذب شده در غلظت تعادلی فسفر  $0/4$  میلی‌گرم بر لیتر ( $P_{0.4}$ ) در خاک‌های زراعی و غیرزراعی از  $36$  تا  $75$  و  $21$  تا  $52$  میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود (جدول ۳). زراعت مستمر در برخی از خاک‌های زراعی مورد مطالعه باعث افزایش معنی‌دار در مقادیر  $P_{0.4}$  شد (جدول ۳). بیشترین مقدار  $P_{0.4}$  در خاک‌های زراعی زیرگروه Typic Endoaquepts مشاهده شد.

مقدار حداکثر جذب فسفر در زیرگروه‌های خاک‌های زراعی و غیرزراعی مورد مطالعه به ترتیب بین  $23-152$  و  $220-171$  میلی‌گرم بر کیلوگرم بود (جدول ۳). نتایج نشان داد که زراعت مستمر چغندر، حداکثر جذب فسفر را در خاک‌های زراعی زیرگروه Typic Haploxerepts افزایش داد که می‌توان به کاهش غلظت فسفر تعادلی (EPC) در این خاک‌ها نسبت داد (جدول ۳). بیشترین مقدار جذب فسفر در خاک‌های غیرزراعی زیرگروه Typic Endoaquepts مشاهده شد که احتمالاً به دلیل بالا بودن گروه‌های هیدروکسیل کانی رس کائولینات در آن باشد (جدول ۲). برخی از مطالعات نیز اثر کانی کائولینات را در افزایش مقدار جذب فسفر نشان داده‌اند (۱۴).

اثر زراعت مستمر بر منحنی‌های جذب فسفر به دو صورت مشاهده شد: ۱- تغییر در EPC، ۲- تغییر در شیب منحنی جذب. زراعت مستمر چغندر موجب گردید که شیب منحنی‌های جذب فسفر و غلظت تعادلی فسفر محلول (EPC) تغییر کند. برای مثال شیب منحنی جذب در خاک Typic Haploxerepts افزایش یافت که ممکن است به دلیل کاهش فسفر در اثر زراعت مستمر گیاه باشد (شکل ۲). در برخی از زیرگروه‌ها تغییر شیب در منحنی جذب مشاهده نشد اما تغییر در EPC منحنی‌های جذب مشاهده گردید. این تغییر غلظت فسفر محلول ممکن است در اثر تغییر مدیریت حاصل‌خیزی خاک‌های مورد مطالعه بر اثر مصرف کودهای فسفاتی بوده باشد. نتایج مشابه توسط سایر محققین نیز گزارش شده است (۳۲ و ۳۱، ۲۳، ۵).

نتایج برآزش داده‌های جذب فسفر به معادلات فروندلیچ و لانگمویر نشان داد هر دو معادله خصوصیات جذب را به خوبی توصیف کردند لکن معادله فروندلیچ ( $R^2=0/97$ ) در همه خاک‌ها بهتر از لانگمویر ( $R^2=0/88$ ) توانست خصوصیات جذب را توصیف کند (جدول ۳). نتایج سایر پژوهش‌ها نیز نشان داد که معادله فروندلیچ جذب فسفر را مخصوصاً در غلظت‌های بالای فسفر بهتر بیان می‌کند (۳ و ۱۸). اما یکی از مزایای استفاده از معادله لانگمویر این است که این معادله می‌تواند حداکثر جذب را بیان کند. نتایج مشابهی نیز توسط دیگران برای خاک‌های استان اصفهان، خوزستان و همدان (۱ و ۲) گزارش شده است.

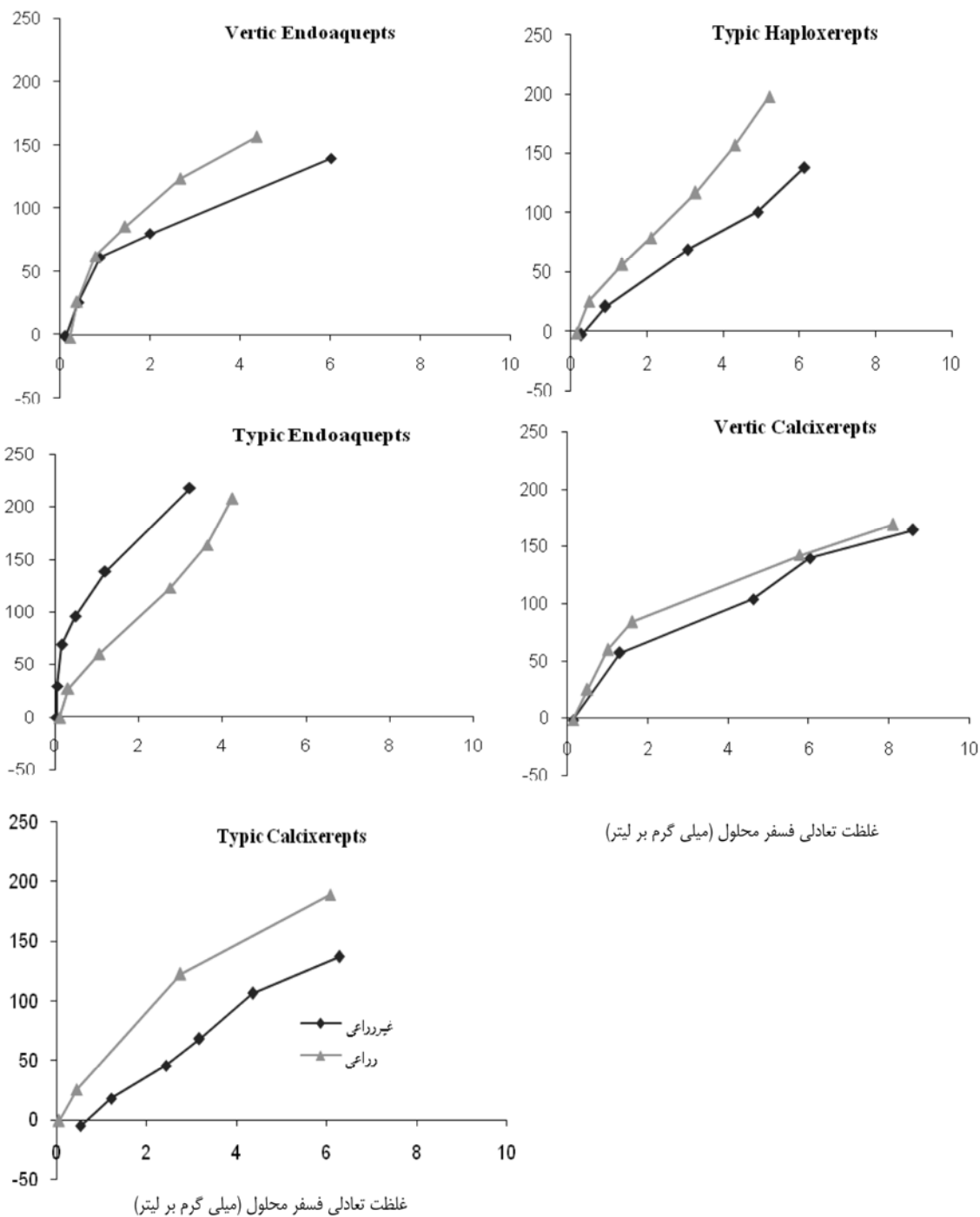
## مقادیر و تغییرات فسفر کل ( $P_t$ ) و فسفر قابل جذب (Olsen-P)

مقادیر میانگین و انحراف معیار فسفر کل و فسفر قابل جذب برای زیر گروه‌های خاک‌های مورد مطالعه در جدول ۱ نشان داده شده است. میزان فسفر کل در خاک‌های زراعی از  $1000$  تا  $1398$  با میانگین  $1272$  میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های غیرزراعی از  $1011$  تا  $1394$  با میانگین  $1248$  میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. کشت و کار باعث تغییراتی در میزان فسفر کل شد. به‌طور کلی، در اثر کشت و کار، کاهش در میزان فسفر کل در زیر گروه‌های Vertic Haploxerepts، Calcixerepts و Typic Endoaquepts مشاهده شد (جدول ۱)، که احتمالاً ناشی از جذب فسفر توسط گیاهان در خاک‌های زراعی می‌باشد (۲۷)، در صورتی که در زیرگروه‌های Typic Calcixerepts، Typic Endoaquepts بر اثر زراعت مستمر بلندمدت، میزان فسفر کل در خاک‌های زراعی افزایش یافت، که علت آن احتمالاً مصرف زیاد کودهای فسفاتی طی سال‌های گذشته در این خاک‌ها می‌باشد (۲۷).

مقدار فسفر قابل استفاده در خاک‌های زراعی از  $10$  تا  $24$  با میانگین  $19$  میلی‌گرم بر کیلوگرم و در خاک‌های غیرزراعی بین  $10$  تا  $23$  با میانگین  $14$  میلی‌گرم بر کیلوگرم متغیر بود. زراعت مستمر باعث افزایش قابل توجهی در میزان فسفر قابل جذب (Olsen-P) در خاک‌های زراعی زیرگروه‌های Vertic Endoaquepts، Typic Endoaquepts و Calcixerepts مورد مطالعه شد (جدول ۱) به‌طوری که بیشترین افزایش در زیرگروه Typic Endoaquepts که کمترین مقدار رس را داشت، مشاهده گردید که بیان‌گر تثبیت کم فسفر در این خاک‌هاست.

## هم‌ماها و پارامترهای معادلات جذب فسفر

نمودارهای جذب فسفر برای تعدادی از خاک‌های مورد مطالعه در شکل ۲ نشان داده شده است. مقادیر غلظت تعادلی فسفر محلول ( $EPC$ ) در بین زیرگروه‌های خاک‌های زراعی و غیرزراعی مورد مطالعه به ترتیب از  $0/05$  تا  $0/25$  و  $0/12$  تا  $0/58$  میلی‌گرم بر لیتر بود (جدول ۳). زراعت مستمر باعث کاهش EPC در همه زیرگروه‌های مورد مطالعه به جز Vertic Calcixerepts شده است که بیان‌گر تخلیه فسفر محلول از خاک‌های زراعی می‌باشد. حداکثر EPC در خاک‌های غیرزراعی زیرگروه Typic Haploxerepts مشاهده شد. بر اساس مطالعات انجام شده در خاک‌های آهکی شمال غرب ایران غلظت تعادلی فسفر محلول  $0/4$  میلی‌گرم در لیتر، مناسب‌ترین غلظت فسفر محلول برای رشد گیاهان گزارش شده است (۳۳). مقدار EPC



غلظت تعادلی ( میلی گرم بر لیتر)

شکل ۲- نمونه‌ای از منحنی‌های جذب فسفر در زیرگروه‌های خاک‌های زراعی و غیرزراعی

جذب ارتباط معنی‌داری مشاهده نشد. سالیس و تورنت (۳۴) دریافتند که گنجایش بافری فسفر خاک شدیداً در ارتباط با مقدار رس و اکسیدهای آهن می‌باشد و کربنات کلسیم نقش کمتری در جذب فسفر دارد. قنبری و همکاران (۴) در خاک‌های استان فارس گزارش کردند که میان حداکثر جذب فسفر و کربنات کلسیم معادل رابطه معنی‌دار و منفی وجود دارد. رایان و همکاران (۳۰) ملاحظه نمودند که روابط معنی‌داری میان کربنات کلسیم معادل و کربنات کلسیم فعال و حداکثر جذب فسفر در خاک‌های آهکی لبنان وجود دارد. بین حداکثر جذب فسفر و مواد آلی در خاک‌های غیرزرزراعی رابطه منفی و معنی‌داری ( $t \leq 0/05$ ،  $P \leq 0/43$ ) مشاهده شد. خان (۱۵) گزارش کرد که جذب کمتر فسفر در خاک‌های با مواد آلی بالا به دلیل اشغال مکان‌های جذب توسط آنیون‌های آلی است.

### نتیجه‌گیری

زراعت مستمر باعث کاهش قابل توجهی در میزان فسفر کل، فسفر قابل جذب (Olsen-P) و غلظت فسفر تعادلی (EPC) در اکثر خاک‌های زراعی زیرگروه‌های مورد مطالعه شد که بیان‌گر تخلیه فسفر محلول از خاک‌های زراعی می‌باشد. نتایج برآزش داده‌های جذب فسفر به معادلات فروندلیچ و لانگمویر نشان داد هر دو معادله خصوصیات جذب را به خوبی توصیف کردند لکن معادله فروندلیچ در همه خاک‌ها بهتر از لانگمویر توانست خصوصیات جذب را توصیف کند. زراعت مستمر چغندر قند در طولانی‌مدت، پارامترهای جذب فسفر (EPC, b,  $P_{0.4}$ , k) خاک‌های مورد مطالعه را تغییر داد. در اثر زراعت مستمر مقدار فسفر جذب شده در اکثر همه زیرگروه‌ها جز Typic Endoaquepts افزایش یافت که احتمالاً بیان‌گر عدم مدیریت صحیح مصرف کودهای فسفاته در طول زراعت باشد که باعث تخلیه خاک از فسفر و در نتیجه افزایش جذب فسفر در این خاک‌ها شده است. بنابراین ضروری است جهت استفاده پایدار از خاک‌ها به مدیریت و میزان پهنه مصرف کودهای فسفاتی عنایت خاص شود.

دامنه مقادیر k (قدرت پیوند) در زیرگروه‌های خاک‌های زراعی و غیرزرزراعی هم‌جوار به ترتیب بین  $0/67-1/8$  و  $1/5-1/9$  لیتر بر میلی گرم بود. بیشترین درصد تغییرات k در زیرگروه Calcixerepts Vertic مشاهده گردید (جدول ۳). در این زیرگروه در اثر زراعت مستمر مقدار k کاهش یافت که می‌توان به کاهش قابل توجه کربنات کلسیم فعال (ACCE) که واکنش‌پذیری بالایی برای جذب فسفر دارد (۲۲)، نسبت داد (جدول ۲). زراعت مستمر مقدار k را در زیرگروه Typic Calcixerepts افزایش داد که به دلیل کاهش قابل توجه غلظت فسفر تعادلی (EPC) در این زیر گروه می‌باشد (جدول ۳) (۴). مقدار a (سطح جذبی) معادله فروندلیچ در خاک‌های زراعی و غیرزرزراعی به ترتیب از ۲۹ تا ۷۳ و از ۶۱ تا ۹۳ متغیر بود (جدول ۳). زراعت مستمر سبب کاهش a معادله فروندلیچ در خاک‌های زراعی شد.

### ارتباط پارامترهای جذب فسفر با خصوصیات خاک

مطالعات رگرسیون خطی نشان داد که بین حداکثر جذب فسفر (b) و میزان اکسیدهای آهن در خاک‌های زراعی و غیرزرزراعی همبستگی معنی‌داری وجود نداشت که احتمالاً به کمی مقدار اکسیدهای آهن بی‌شکل در این خاک‌ها ارتباط دارد (جدول ۱). نتایج مشابه توسط دیگران نیز گزارش شده است (۴ و ۳۰). از سوی دیگر برخی محققین (۹، ۱۶، ۲۵، ۳۴) روابط معنی‌دار و مثبت بین جذب فسفر و اکسیدهای آهن گزارش کردند.

در این مطالعه همچنین بین درصد رس و پارامترهای معادله‌های هم‌دمای جذب فسفر همبستگی معنی‌دار مشاهده نشد که احتمالاً می‌تواند به دلیل کم بودن گستره درصد رس خاک‌های مورد مطالعه باشد. در مطالعه‌ای که در خاک‌های آهکی همدان صورت گرفت نیز همبستگی معنی‌داری بین پارامترهای جذب و درصد رس به دست نیامد (۲). در صورتی که همبستگی معنی‌دار و مثبتی بین پارامترهای مذکور در خاک‌های آهکی ورتی سول و انسپتی سول اسپانیا مشاهده شد (۳۴).

بین کربنات کلسیم معادل و پارامترهای معادله‌های هم‌دمای

### منابع

- ۱- شیروانی م. و شریعتمداری ح. ۱۳۸۱. استفاده از هم دماهای جذب سطحی در تعیین شاخص‌های ظرفیت بافری و نیاز استاندارد فسفر برخی خاک‌های آهکی استان اصفهان. مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی. جلد ششم. شماره اول.
- ۲- عنایت ضمیر خ. و حسین پور ع. ۱۳۸۲. مشخصات جذب سطحی فسفر و رابطه آن با ویژگی‌های خاک در شماری از خاک‌های همدان. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۲۷. شماره سوم.
- ۳- فکری کوهبانی م.، کلباسی م. و حاج رسولیها ش. ۱۳۷۳. مقایسه معادلات لانگمویر یک سطحی و دو سطحی، فروندلیچ و تمکین به منظور توصیف هم دماهای جذب سطحی فسفر در بعضی از خاک‌های منطقه اصفهان. خلاصه مقالات چهارمین کنگره علوم خاک ایران، دانشگاه



صنعتی اصفهان.

- ۴- قنبری ع، مفتون م. و کریمیان ن.ع. ۱۳۷۷. ویژگی های جذب سطحی و واجذبی فسفر در بعضی خاک های شدیداً آهکی استان فارس. مجله علوم کشاورزی ایران. جلد ۲۹. شماره ۱.
- 5- Abedi M.J., and Talibudeen O. 1974. The Calcareous soils of Azarbaijan. I. Catena Development Related to the Distribution and Surface Properties of Soil Carbonate. *Journal of Soil Science*, 25: 257-372.
  - 6- Agbenin J.O., and Tiessen H. 1994. The effects of soil properties on differential phosphate sorption by semiarid soils from northeast Brazil. *Geoderma*, 157: 36-45.
  - 7- Ballaux J.C., and Peaslee D.E. 1975. Relationships between sorption and desorption of Phosphorus by soils. *Soil Science Society American Proceeding*, 39: 275-278.
  - 8- Barrow N.J. 1978. The Description of Phosphate Adsorption Curves. *Journal of Soil Science*, 29: 447-462.
  - 9- Bennahoh E.O., and Acquaye D.K. 1989. Phosphate sorption characteristics of selected major Ghanaian soils. *Journal of Soil Science*, 148: 114-123.
  - 10- Biscaye P.E. 1965. Mineralogy and sedimentation of recent deep sea clay in the Atlantic Ocean and adjacent seas and oceans. *Geological Society of America Bulletin*, 76: 803-832.
  - 11- Drouineau G. 1942. Dosage rapide du calcaire actif du sol; nouvelles donnees sur la separation et la nature des fractions calcaires. *Annales Agronomiques*, 12: 441-450.
  - 12- Fox R.L., and Kamprath E.J. 1970. Phosphate sorption isotherms for evaluating the phosphate requirements of soils. *Soil Science Society American Proceeding*, 34: 902-907.
  - 13- Gee G.W., and Bauder J.W. 1986. Particle-size Analysis. In: *Method of soil analysis, part 1, Second Ed.*, ASSS, Madison Wisc. USA.
  - 14- Holford I.C.R., and Mattingly G.E.G. 1975. Surface areas of calcium carbonate in soil. *Geoderma*, 13: 247-255.
  - 15- Khan D.I. 1999. Phosphate Adsorption in Soils and its Availability to Plants. PhD Thesis. Gomal, Univ, Pakistan.
  - 16- Krairapanond A., Jugsujinda A., and Patrick W.H. 1993. Phosphorus sorption characteristics in acid sulfate soils of Thailand: effect of uncontrolled and controlled soil redox potential (Eh) and pH. *Plant and Soil*, 157: 227-237.
  - 17- Kunze G.W. 1965. Pretreatment for mineralogical analysis. In C. A. Black (ed.) *Methods of soil Analysis*. Agronomy 9: 210-221. American Society of Agronomy, Madison, Wis.
  - 18- Mehadi A., Taylor R.W., and Shouford J.W. 1990. Prediction of fertilizer phosphate requirement using the Langmuir adsorption maximum. *Plant and Soil*, 122: 267-270.
  - 19- Mehra O.P., and Jackson M.L. 1960. Iron oxide removal from soils and clays by a dithionite-citrate system buffered with sodium bicarbonate. *Clays and Clay Minerals*, 7: 317-327.
  - 20- Nair P.S., Logan T.J., Sharply A.N., Somman L.E., Tabatabai M.A., and Yuan T.L. 1984. Interlaboratory comparison of a standardized phosphorus adsorption procedure. *Journal of Environmental Quality*, 13: 591-595.
  - 21- Olsen S.R., Cole, C.V., Watanable F.S., and Dean L.A. 1954. Estimation of available phosphorus in soils by extraction with sodium bicarbonate. Cir. USDA, U.S. Government Printing office, Washington DC.
  - 22- Olsen S.R., and Sommers L.E. 1982. Phosphorus. In: C. A. page (ed.), *Methods of soil Analysis*. 2nd ed. Agronomy series, part 2, Soil Sci. AM. Inc. 9: 403- 430.
  - 23- Olsen S.R., and Watanabe F.S. 1957. A method to determine a phosphorus adsorption maximum of soil as measured by the Langmuir isotherm. *Soil Science Society American Proceeding*, 21: 144-149.
  - 24- Oskay K.S. 1986. The influence of time on phosphate retention and the description of p adsorption by means of langmuir asotherms in calcareous soils. *Doga Turk Tariim Drmameilic Dergisi*, 10: 252-262.
  - 25- Osodeke V.E., Asawalam D.O., Kamalu K.O.J., and Ligwa I.K. 1993. Phosphorus sorption characteristics of some soils of the rubber belt of Nigeria. *Communication in Soil Science Plant Analysis*, 24: 1733-1743.
  - 26- Page A.L., Moller R.H., and Keeny D.R. 1982. *Methods of soil analysis part 2*. Agron. Publisher Maison Wisconsin, U.S.A.
  - 27- Potarzycki J., Gaj R., and Schnug E. 2004. Phosphorus adsorption in soils after 20 years of organic (cattle slurry) and mineral (NPK) fertilization. *Soil Science Society American Proceeding*, 54: 13-20.
  - 28- Rayment G.E., and Higginson F.R. 1992. Oxalate-extractable Fe and Al. In "Australian Laboratory Handbook of Soil and Water Chemical Methods". Inkata Press, Melbourne.
  - 29- Roberto I., and Giampietro D. 2004. Evaluating phosphorus sorption capacity of acidic soils by long-term equilibration procedures. *Communication in Soil Science Plant Analysis*, 16: 2269-2289.
  - 30- Ryan J., Curtin D., and Cheema M.A. 1985. Significance of iron oxides and calcium carbonate particle size in phosphate sorption by calcareous soils. *Soil Science Society American Journal*, 49: 74-76.
  - 31- Sakadevan K., and Bavor H.J. 1998. Phosphate adsorption characteristics of soils, slages and zeolite to be used as substrates in constructed wetland systems. *Water Research*, 32: 393-399.
  - 32- Samadi A. 2001. Changes in available phosphorus with time in contrasting calcareous soils with a mediterranean type of climate. 7 International Meeting on Soils with a Mediterranean Type of Calimate. Bari, Italy pp. 231-234.
  - 33- Samadi A. 2006. Phosphorus Sorption Characteristics in Relation to Soil Properties in Calcareous Soils of Western Azarbaijan Province, Iran. *Journal of Agricultural Science and Technology*, 8: 251-264.

- 34- Solis P., and Torrent J. 1989. Phosphate sorption by calcareous Vertisols and Inceptisols of Spain. Soil Science Society American Journal, 53: 456-459.
- 35- Villapando R.R., and Greatz D.A. 2001. Phosphorus Sorption and Desorption Properties of the Spodic Horizon from Selected Florida Spodosols. Soil Science Society American Journal, 65: 331-339.
- 36- Walky A., and Black I.A. 1934. An examination of degtjareff method for determination soil organic matter and a proposed modification of chromic acid in soil analysis. Experimental Soil Science, 79: 459-465.



## Effect of Continuous Cropping on Phosphorus Adsorption Characteristics in Some Calcareous Soils of North-West of Iran

G. Miraki<sup>1\*</sup> - A. Samadi<sup>2</sup>

Received:8-3-2010

Accepted:29-6-2011

### Abstract

Phosphorus (P) sorption in soils is a key process governing the availability of P to crops. P sorption characteristics and their relationship to soil properties were determined in twenty-one paired surface soil samples (21 cultivated and 21 adjacent virgin soils) belonging to five soil types: Typic Calcixerepts, Typic Haploxerepts, Typic Endoaquepts, Vertic Endoaquepts, and Vertic Calcixerepts from sugar beet growing areas located in the north-west of Iran. After determining P adsorption isotherms, adsorption data was fitted to Langmuir and Freundlich equations to derive adsorption parameters. In comparison with Langmuir equation ( $R^2 = 0.82$ ), Freundlich model provided a better description of P adsorption isotherms ( $R^2 = 0.97$ ) in both cultivated and adjacent virgin soils. Total P ranged from 1000 to 1398 and 1011 to 1394  $\text{mg kg}^{-1}$ , respectively. Continuous cultivation resulted in a considerable increase in available P (Olsen P) in cultivated soils. The amount sorbed P differed among soil types. The results showed that in all soils types except Typic Haploxerepts, equilibrium solution P concentration (EPC) was almost lower than the requirement for most crops ( $< 0.4 \text{ mg L}^{-1}$ ). The amount of sorbed P at  $0.4 \text{ mg L}^{-1}$  EPC ranged from 36 to 75 and 21 to 52  $\text{mg kg}^{-1}$  for cultivated and adjacent virgin soils, respectively. The maximum P adsorption (b) ranged from 152 to and 171 to 220  $\text{mg /kg}$  for cultivated and adjacent virgin soils, respectively. Maximum P adsorption (b) ranged from 152 to 230 and 171 to 220  $\text{mg kg}^{-1}$  for cultivated and adjacent virgin soils, respectively. The amount of sorbed P increased in most studied soil subgroups as a result of cultivation indicating improper management of P fertilizer application which resulted in the depletion of P from soils and an increase in P soption.

**Keywords:** Phosphorus (P) adsorption isotherms, Continuous cropping, Langmuir, Freundlich

---

1,2- Former MSc Student and Associate Professor, Department of Soil Science, Faculty of Agriculture, Urmia University

(\*-Corresponding Author Email: gmiraki@gmail.com)